互动反馈促进说服的作用机制:双人近红外研究

李杨卓[1,2] 张如倩[4] 宋森森[5] 李先春[3] 罗俊龙[1,2]

(1 上海师范大学心理学院, 上海 200234) (2 上海师范大学教育部教育大数据与决策实验室, 上海 200234) (3 华东师范大学心理与认知科学学院, 上海 200062) (4 上海大学心理辅导中心, 上海 200444) (5 华中师范大学心理学院, 武汉 430079)

摘 要 现有说服领域研究大多仍停留在对信息内容的机械理解, 忽视了说服的互动性。本研究通过创设高生态效度的双人说服范式, 结合近红外功能成像技术, 探究互动反馈对说服行为的影响及其认知和神经基础。结果表明, 相较于无互动反馈条件, 互动反馈提高了说服结果和感知说服力, 并增强了说服者和被说服者在右侧额中、左侧颞顶的脑-脑同步, 且该脑-脑同步正向预测了说服结果。在说服策略使用上, 相较于支持性说服策略, 互动反馈中说服者更频繁地使用反驳性策略, 且脑-脑同步有效识别和追踪了两种不同策略。综上, 本研究为理解互动反馈如何促进人际说服提供了新视角, 有助于深入解析人际神经科学背后复杂且真实的说服过程。

关键词 说服, 互动反馈, 说服策略, 近红外功能成像技术, 脑-脑同步[1]

分类号 B845; C91

1 引言

说服(Persuasion)是人类普遍存在的社交技能，是信息传播和社会影响的重要基石(O'keefe, 2016)。过去二十年，心理学家和认知神经科学家在说服领域进行了深入探讨(Cooper et al., 2015; Di Plinio et al., 2023; Falk et al., 2015; Falk & Scholz, 2018), 在取得诸多重要发现的同时, 也极大促进了对说服这一社会活动的理解。然而, 现实情境中的说服通常发生于人际交流的过程, 除了传递说服性信息外, 说服者还会从被说服者处获得反馈。这揭示自然情境中的说服并非传统单向信息流动(说服者→被说服者), 而是双向信息流动过程(说服者↔被说服者)。尽管如此, 现有说服领域研究大多仍停留在对信息内容的机械理解, 说服的互动协调过程被大大简化。鉴于此, 对人际沟通过程中说服行为、行为与脑、以及脑

[1] 收稿日期: 2024-09-18

* 国家自然科学基金青年项目(32400903); 中国博后科学基金第 75 批面上资助(2024M752072); 国家自然科学基金面上项目(32071082)。

通讯作者: 李先春, E-mail: xcli@psy.ecnu.edu.cn; 罗俊龙, Email: luo831023@163.com

与脑关联的诠释，是解析如何实施精准、有效说服的关键。

1.1 互动反馈对说服的影响

相较于传统“传递-接收”说服模式，互动说服的一个显著特点是说服者能够获得被说服者的反馈，包括对说服信息的理解、确认、质疑甚至反驳。通过这些反馈，说服者也可以实时调整和优化其说服策略，从而增强说服效果(Barasch & Berger, 2014; Li & Sundar, 2022)。当被说服者提出质疑或反对意见时，反馈使说服者能够及时应对这些异议，澄清误解，并提供有力的论据来支持自己的观点(Limbu et al., 2016)。这些发现揭示了互动反馈可有效促进说服，然而其背后的认知机制仍亟待探讨。前人研究表明，人们通常有两种方式处理对立的争论:支持性信息和反驳性信息(Eisend, 2010; Xu & Petty, 2022)。支持性信息是支持说服者观点的正面论据，而反驳性信息则是对他人意见或观点的反驳。在“传递-接收”模式下，由于无法了解对方意图，说服者通常只提供支持自身观点的论点而忽视对方的论点，即仅采用支持性信息。然而，当说服者获得被说服者的反对或质疑时，除了提供支持性说服策略，还可通过反驳策略以应对对方相反的论点。

一些理论和实证研究为互动反馈促进说服提供了支持。从认知加工视角，互动反馈有助于认知重组(Arceneaux & Vander Wielen, 2017; Petty & Briñol, 2015)。通常，当个体接收到与自身知识经验不符或与原先观点不一致的信息时，为避免认知失调，他们往往会忽略或过滤这些信息，从而抵制说服。然而，互动反馈提供的反驳性信息使个体意识到自己当前观点的错误和不足，促使个体进行认知重组，从而缓解认知失调(Wallace et al., 2020)。更重要的是，反驳性策略不仅指出错误，还为被说服者提供相应的建议和解决方案，增加信息的客观性和全面性，从而激发个体的行为改变(Liu & Shrum, 2009; Eisend, 2006)。元认知监控理论也指出，互动反馈通过促进个体反思和监控自身思维过程，识别自身的认知缺陷，从而引发个体态度和行为的改变(Koriat & Adiv, 2011)。总之，互动反馈确实可能通过反驳性说服策略增强说服效果。然而，由于互动反馈过程的复杂性，在说服过程支持性信息和反驳性信息往往同时出现，反驳性信息是否以及如何在互动反馈说服中发挥关键性作用，仍需进一步证实。

1.2 说服的神经基础

当人们试图说服他人或被他人说服时，多种社会、情感和认知因素在大脑中被整合。研究表明，大脑中的价值评估系统和心智化系统是驱动说服的两条核心神经通路。价值评估系统主要涉及内侧前额叶(medial prefrontal cortex, mPFC)、腹内侧前额叶(ventromedial prefrontal cortex, vmPFC)和腹侧纹状体(ventral striatal, VS)(Cascio et al., 2015; Falk & Scholz, 2018)。其中，mPFC、vmPFC 作为行为“预测器”，能够有效预测个体与说服信息一致的行为

改变(Falk et al., 2015; Cooper et al., 2015)。mPFC 还涉及自我整合功能，表明说服反应了个体将说服信息整合到已有自我概念当中(Cacioppo et al., 2018)。VS 涉及奖赏系统，表明个体可能为增强社会联系而做出与说服信息一致的行为，获得内在奖赏(Berger, 2014)。心智化脑区包括双侧颞顶联合区(temporoparietal junction, TPJ)、楔前叶(precuneus, PC)以及颞上沟(superior temporal sulcus, STS)。在说服过程中，说服者需要考虑受众的特征并预测其潜在反应，以有效创造出与受众共鸣的信息，即所谓"了解你的听众"，这一过程涉及心智化活动。例如，高心智化的说服者会根据不同受众调整说服内容和措辞，以最大限度地影响他们(Baek & Falk, 2018; Dietvorst et al., 2009; Scholz et al., 2017)。

值得注意的是，前人研究仅聚焦于单个说服者或被说服者的脑内活动，远不足以揭示说服过程中潜在的人际神经特征。近年来，随着人际神经科学的发展，大量社会互动研究发现，互动主体间伴随脑间活动同步现象，即脑-脑同步(brain-to-brain synchronization)。这种脑-脑同步被认为是一种信息传递机制，是人际沟通和理解的基础，并引导社会共识(Couzin, 2018; Shamay-Tsoory & Mendelsohn, 2019)。已有研究证实，更有说服力的信息会在被说服者的前扣带回皮层(anterior cingulate cortex, ACC)和背内侧前额叶(dmPFC)引发广泛的人际间脑-脑同步(Dmochowski et al., 2014; Imhof et al., 2020; Schmälzle et al., 2015)。这些发现表明了，脑-脑同步可作为捕捉信息受众集体思维的重要指标，发现的功能脑区也进一步揭示语义加工以及与理解相关的高阶脑区的同步性可能是说服生效的关键脑区。此外，Li 等人(2023)最近通过一项近红外功能成像研究发现，说服者左侧额上回与被说服者右侧额中回的脑-脑同步可以有效预测说服成功与否。然而，该研究仅允许单向信息传递，互动反馈在此过程中的作用仍有待进一步证实。

1.3 当前研究

本研究旨在探究在人际交流说服情境中，互动反馈如何影响说服效应，并揭示其背后的认知和人际神经基础。首先，为创设高生态效度的人际说服沟通情境，研究采用求生类交流任务(北极求生任务, Arctic Survival Task)作为实验范式(Jensen 等, 1973)。该范式的详情与优势在 *2.3* 节详细介绍。在脑成像手段上，由于功能磁共振(functional Magnetic Resonance Imaging, fMRI)的时间分辨率和扫描空间限制，目前较少应用于言语交流研究中。脑电(electroencephalography, EEG)和近红外成像(functional near-infrared spectroscopy, fNIRS)更容易实现对说服互动过程中对双方大脑活动同步采集。相较于脑电, fNIRS 具有更高的空间分辨率和更强的动作伪迹容忍度(Duan et al., 2018; Lloyd-Fox et al., 2010)，因此本研究采用 fNIRS 同步采集说服者和被说服者的大脑活动。值得注意的是, fNIRS 有限的探头数量决定

了它无法做到全脑区覆盖，因此正式实测前需选定感兴趣脑区。基于前述综述，前额(prefrontal cortex, PFC)和颞顶区域(temporo-parietal cortex)在说服过程中发挥着重要作用(Baek & Falk, 2018; Falk et al., 2015; Scholz et al., 2017)。此外，这两个脑区在以往研究中也被证实参与人际互动和信息反馈加工过程。其中，前额叶参与自我与他人信息的整合并对个体后续行为决策和监控(van Duijvenvoorde et al., 2016)，颞顶区域则参与编码他人反馈信息、推断对他人目标和意图、以及策略调整(Samson et al., 2004; Xie et al., 2020)。此外，相较于右侧颞顶，左侧颞顶与言语理解和信息传递密切相关，在人际沟通和信息理解中发挥重要作用(Dai et al., 2018; Jiang et al., 2015)。综上，本研究主要关注前额叶和左侧颞顶。

被试分两次来到实验室完成所有任务，物品选择任务(第一次)和近红外双人说服任务(第二次)。近红外双人说服任务分为无讨论(阶段 1)和有讨论(阶段 2)两个部分。此外，为排除互动反馈对说服效应的影响仅源于对信息的反复加工(如，说服信息反复曝光从而增强说服) (Binder et al., 2021)，或源于人际沟通导致的人际关系因素(如，亲密度，人际距离等)，研究还设置了两个控制条件。控制组 1 的阶段 2 与阶段 1 任务完全相同。控制组 2 将阶段 2 任务设置为独立思考，被说服者被要求结合刚才对方的意见再次思考并完成第二轮物品选择，说服者在此过程中只需安静等待。本研究假设: 1) 相较于无讨论，有讨论的互动反馈将提高说服效果; 2) 相较于无讨论，有讨论的互动反馈在神经活动上表现出更强的脑-脑同步; 3) 基于视音频信息对说服策略进行解码，证实反驳性信息是互动反馈促进说服的关键策略; 并且，我们推测该说服策略阶段对应的脑-脑同步相比支持性信息的脑-脑同步将显著增强。

2 方法

2.1 被试

利用 G*Power 3.1 进行功效分析(Effect size = 0.20, $\alpha = 0.05$, $1 - \beta = 0.95$)，计划总样本量为 78 对。本实验仅招募女性被试以控制性别差异的潜在影响(Eagly, 2009; Li et al., 2023)，共招募 194 名健康女性被试(右利手，年龄范围在 18~30 岁)，由于未按时返回实验室完成第二次实验、或近红外设备故障或信号质量问题, 12 名被试被排除。最终，实验组招募 33 对被试(mean±s.d.= 24.11±2.32 岁)，控制组 1 招募 28 对被试(mean±s.d. = 22.77±2.46 岁)；控制组 2 招募 30 对被试(mean±s.d. = 23.62±2.33 岁)。三组在年龄、受教育程度等人口统计学变量上无显著差异($Fs < 2.14$, $ps > 0.276$，单因素三水平方差分析)。每组被试均由陌生人匹配，以减少社会关系的影响。所有参与者听力均正常，视力或矫正至正常，无神经学、重大医学或精神疾病诊断史，实验前两周内未服用精神类药物，正式实验过程中未出现任何不适。实验开

始前，每名被试阅读并自愿签署了纸质版知情同意书。

2.2 实验材料

受 Jensen 等人(1973)的“北极求生任务”启发，本研究创设了高生态效度的双人说服交流任务范式。该范式要求被试想象自己是给定情境中的真实一员。从 15 件事故中抢救出来的物品(如，一个磁性罗盘、手枪，等)中选择 3 件对求生最为重要的物品，并按照重要性排序(第 1 重要，第 2 重要，和第 3 重要)。详细的任务情境和物品选项见附录 1。相较于以往研究，本研究对该范式做了两方面的调整:

1）相较于前人研究中对所有列出的物品进行重要性排序(例，从第 1 重要到第 15 重要)，本研究要求被试做有限数量的物品选择。即，在 15 种求生物品中仅选择 3 种，并按重要性进行排序。这一操作旨在确保说服任务中，同组的两名被试在初始选择上完全不同(如，被试#1 选择: 4, 6, 1；被试#2 选择: 9, 12, 3)。

2）说服结果量化。前人研究通过计算真实被说服者在说服任务后的排序与计算机或代理人(即，说服者)给定的排序之间的相关系数(如，斯皮尔曼等级相关)来量化说服结果。本研究中则主要通过计算被说服者改变的物品数量来量化说服结果(详情见 *2.4.1*)。

2.3 实验流程

如图 1 A 所示，物品选择任务中被试单独来到实验室，阅读北极求生任务，从给定的 15 个物品中选择 3 件最重要的物品，并按其对求生的重要性排序。之后，参与者填写事后问卷(情境代入感、先验经验, 5 点评分)。研究人员随后再次确认被试的选择，以确保短时间内其选择不会轻易改变。在确认答复后，参与者被引导离开实验室，并被告知下一次实验前不要关注此任务或查阅相关资料。随后，两名在第一次任务中选择完全不同且彼此陌生的参与者被同时邀请返回实验室进行双人近红外说服任务。两次实验间隔时间不超过 48 小时。被试首先完成主观一系列问卷，包括十项人格问卷(*Ten Item Personality Inventory*, TIPI. Gosling et al., 2003, Cronbach's α = 0.86)、说服易感性量表(*Susceptibility to Persuasion Scale*, STPS 32-题, Modic et al., 2018, Cronbach's α =0.82)和认知一致性量表(*Need for Consistency scale*, NfC 18-题, Cacioppo et al., 1984, Cronbach's α = 0.85)。采用 7 点评分(1 = “非常不符合”；7 = “非常符合”)。随后，两名参与者被随机分为“说服者”一方和“被说服者”一方。实验首先是 3 分钟的静息阶段。静息阶段是指外部刺激不存在且不需要执行任务的状态，旨在使 fNIRS 成像仪器和参与者均达到稳定状态。参与者在该阶段保持静止，闭上眼睛，精神放松。静息阶段结束后，开始正式说服任务。

说服任务分两个阶段。阶段 1 中，说服者依次向对方阐明自己选择的物品及理由(每项物品阐述固定时长 90s，由“哔哔”声提示开始和结束)。被说服者在该过程中仅需聆听，无需与对方交谈。3 项物品阐述完毕后，被说服者被要求做出新一轮的物品选择，而说服者则在这个过程中安静等待。阶段 2 中，要求两名被试围绕当前任务进行讨论。说服者的目标是尽可能说服对方改变其选择，而被说服者可以自由表达观点。讨论形式不固定，但参与者被明确告知不得讨论与任务无关的内容。阶段 2 时长与阶段 1 保持一致。若参与者提前完成讨论，则静待提示音后进入下一阶段。阶段 2 结束后，被说服者做出新的第二轮物品选择。之后，双方完成感知说服力评分(说服者:说服对方的程度，被说服者:被对方说服程度; 0%到 100%的 11 级评分)。实验结束后，主试将近红外设备从被试头上取下，并指导其安全离开实验室。整个实验过程由摄像机录制。

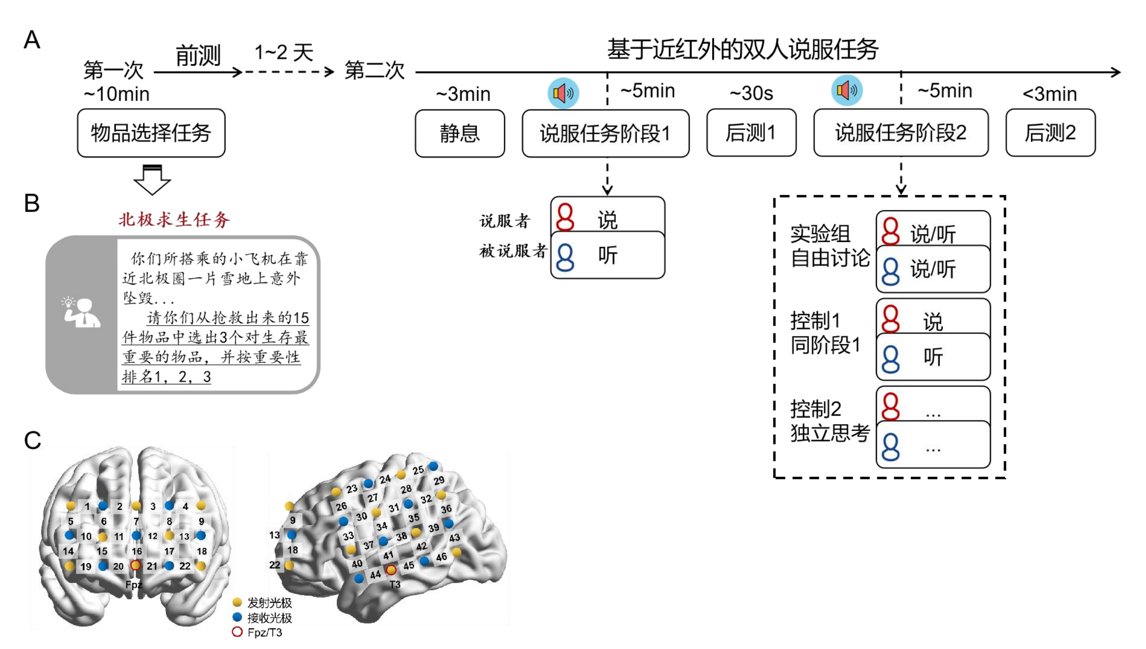


图 1 实验流程、任务和光极点位置示意图。**(A)**实验流程示意图。虚线方框标记部分为实验组和两个控制组不一致的地方。**(B)**实验材料(北极求生任务)示意图。**(C)**fNIRS 探测位置。发射光极(橙色)和接受光极(蓝色)分别位于前额叶和左侧颞顶联合区(探测器之间距离为 30mm)，红色空心圆代表光极片放置参考点。

2.4 数据采集和分析

2.4.1 说服结果评定

说服结果通过被说服者更改的物品数量及其重要性排序进行衡量(Li et al., 2023)。具体为，被说服者选择说服者提供的 0、1、2 或 3 项物品，说服结果则初步记为“0”、“1”、“2”、“3”。进一步，将重要性排序考虑进去(例如，被说服者将说服者排第一位的物品也排在第一位，相较于排在第二或第三位反映了更高的说服力)，计算加权后的说服结果。将值“3”、“2”和“1”分别赋予说服者排第 1、第 2 和第 3 重要的物品。如果物品在被说服者中保持相同顺

序, 则赋值不变。若排序发生变化, 则根据重要性顺序增加或减去加权比例(第 1 重要: 3/6; 第 2 重要: 2/6, 第 3 重要: 1/6), 未选择的物品赋值“0”。最终, 说服结果的范围值从 0 到 6, 数值越大表明说服结果越高。

2.4.2 视音频数据采集和分析

为进一步从互动反馈的说服策略提供支持, 研究对说服过程中的视音频数据进行解码, 具体步骤如下:

首先, 视音频质量检查和筛选。视音频解码分析主要聚焦于实验组的阶段 2, 正式编码前对视频和音频数据的质量进行了严格的检查, 标准如下: 1) 视频应清晰捕捉到说服者和被说服的脸部表情和上肢动作; 2) 语音清晰可懂, 无歧义; 3) 交流互动时长超过任务总时长的 50%, 且出现与说服任务情境无关的内容不超过交流总时长的 20%。不符合这些标准的被试对将被排除。经过筛选, 共有 6 对被试被移除, 最终保留 27 对被试, 平均对话时长为 4.37 分钟(s.d. = 0.27 分钟, 范围为 4.05 至 5.00 分钟)。

接着, 选定编码指标。首先进行初级的开放式编码。将每对被试讨论过程中的语音信息全部转录为文本材料, 由一名实验人员仔细核实, 确保转录内容 100%准确无误。随后, 额外招募两名训练有素且事先未参与过本实验的编码员, 识别说服者和被说服者发言的起/止时间, 并记录发言时长(秒)和频率(次) (如图 4A 示意)。结合前文综述(Eisend, 2010; Xu & Petty, 2021)和本研究假设, 我们编码了互动反馈说服过程中的说服策略类型, 将二者说话内容根据上下文关系整合, 划分为支持性说服策略和反驳性说服策略。图 4B&C 为两种说服策略编码的示意。采用 ELAN 软件和人工编码相结合的方法。所有编码员事先接受培训, 了解本次编码目的和要求, 并熟悉编码准则。每名编码员独立完成三分之二的编码任务, 确保每个指标至少由两名不同编码员进行编码。编码员在逐帧基础上, 沿着既定编码维度查看和标记每对被试。对于意见不一致的部分, 两名编码员需讨论并达成共识。编码员的一致性信度通过类内相关系数(intra-class correlation, ICC)计算, 经检验 ICC 的范围为 0.72~0.94, 表明具有良好的可靠性。

2.4.3 fNIRS 数据采集

采用功能近红外光谱成像系统(ETG-7100, 日立)同时测量两名被试的大脑活动。光学数据采集波长分别为 695 和 830nm, 采样率为 10Hz。如图 1C 所示, 光极被分别放置在每名被试的前额叶和左侧颞顶区域。具体来说, 前额叶放置一个 3×5 的光极片(8 个发射极和 7 个接收极, 共 22 个通道 CH1~CH22); 左侧颞顶区放置一个 4×4 的光极片(8 个发射极和 8 个接收极, 共 24 个通道 CH23~CH46)。正式记录前, 光极位置被检查与调整, 以确保参与者间的空

间位置基本一致。采用虚拟配准方法确定 fNIRS 通道与大脑皮层测量点之间的对应关系(Singh et al., 2005; Tsuzuki et al., 2007)。各通道的坐标及脑区标定信息见附录 2。

2.4.4 fNIRS 数据预处理

主要包括三个步骤: 首先, 将原始光强信号转换为光密度信号(OD), 进行目视检查以评估信号的质量。根据以下三项标准: 1) 视觉检查中信号突然出现跳跃、缓慢变化的 U 形或倒 U 形尖峰、或多个电流呈现快速尖峰; 2) 小波变换图无法识别心跳信号; 3) 功率谱分析缺乏主导频率(~1Hz) (Pinti et al., 2017)。符合上述任一特征的通道则被标记为信号不佳, 排除在后续分析之外。基于该方法, 单通道坏道率最高 7%, 单个被试坏道率最高 8.7%, 所有坏道占所有被试总通道数的 2.1%。这些通道在后续分析中均予以剔除。接着, 采用基于 HOMER2 的 MATLAB(R2020a, MathWorks, Natick, MA, US)脚本对近红外数据进行预处理。使用小波算法对信号时间序列进行运动伪影校正, 选择 Daubechies 5 小波并设置调整参数为 0.1(Molavi & Dumont, 2012)。然后, 使用截止频率为 0.01~1Hz 的带通二阶巴特沃斯滤波器减少慢漂移和高频噪声。最后, 基于修正的 Beer-Lambert 算法(Cope & Delpey, 1988), 将预处理后的 OD 数据转换为氧血红蛋白(oxyhemoglobin, HbO)和脱氧血红蛋白(deoxyhemoglobin, HbR)浓度变化。鉴于前人研究发现, HbO 信号对大脑皮层的血流变化更为敏感, 且具有更高的信噪比(Sasai et al., 2011), 因此本研究主要关注 HbO 信号(Li et al., 2023; Pan et al., 2023)。

2.4.5 近红外数据分析

脑-脑同步分析。采用小波变换相干性算法(Wavelet transform coherence, WTC)计算说服者和被说服者之间的神经活动相干性(Grinsted et al., 2004)。对所有可能的通道对集合(46 个说服者通道×46 个被说服者通道, 共计 2116 个通道对)进行分析。将静息阶段、任务阶段 1、阶段 2 的 WTC 值分别在时间维度上平均, 得到各自频段×通道对的 WTC 矩阵。考虑到本研究为被试间设计, 个体间神经活动的固有相似性(即, 非任务状态下的自主神经系统震荡的相似性程度)可能会影响任务相关的脑-脑同步, 因此以静息阶段的脑-脑同步作为基线, 得到阶段 1 和阶段 2 的脑-脑同步值(分别为: 阶段 1 = 阶段 1$_{\text{相干值}}$-静息$_{\text{相干值}}$; 阶段 2 = 阶段 2$_{\text{相干值}}$-静息$_{\text{相干值}}$)。为获得稳定的数据, 时间维度平均前分别将静息和任务阶段的初始 5s 和结束 5s 的数据点删除(Li et al., 2023)。随后, 数据经 Fisher-z 转换进行标准化处理。

确定任务相关频段。研究采用数据驱动方法, 对 0.01~0.8Hz 范围内所有频段的相干值在所有通道对进行 3(组别: 实验组 vs 控制组 1 vs 控制组 2) × 2(阶段: 阶段 1 vs 阶段 2)混合效应方差分析(Zhao et al., 2021; 朱怡, 胡谊, 2024)。组别为被试间变量, 阶段为被试内变量。将 $p < 0.001$ 设定为初步选定频段范围的阈值, 对连续显著的频段进行平均, 生成频段簇后

再次进行混合效应方差分析。本研究主要关注交互效应，最终得到任务相关感兴趣频段为0.012~0.028Hz(对应周期: 35~83s)。该频段涵盖了大部分认知活动相关的神经生理信号，同时排除由呼吸(0.2~0.3 Hz)或心血管活动(~1 Hz)等引发的生理噪声。在此频段下，确定显著通道对并对统计检验 p 值进行 FDR 校正，以减少 I 类错误概率。

脑-脑同步方向性分析。采用格兰杰因果分析(Granger Causality analyses, GCA)衡量说服者和被说服者之间大脑活动的信息流，以理解脑-脑同步的方向性特征。这里我们主要聚焦于脑-脑同步显著的通道对。GCA 是一种使用向量自回归模型(Vector Autoregressive Model, VAR)来衡量两列信号时间序列因果关系的方法(Barnett & Seth, 2014)。采用 Matlab 工具包(多变量格兰杰因果, Multivariate Granger Causality Toolbox, MVGC)计算成对的 GCA 值(即，方向：说服者→被说服者，被说服者→说服者)。统计检验上，首先采用单样本 t 检验分别验证各组别和阶段下的 GCA 值是否显著大于零。接着，对 GCA 值进行 3(组别) × 2(阶段)× 2(方向)混合效应方差分析。

脑-脑同步有效性验证。为排除脑-脑同步可能源于同组被试对共享环境及其共同任务的相似处理，而非与说服相关的社会认知过程(Ayrolles et al., 2020; Kingsbury et al., 2019)，研究采用两种随机置换检验方法对脑-脑同步进行有效性验证。方法 1 为打乱说服任务的两个阶段而被试对间不打乱。例如，将说服者#1 阶段 1 的 HbO 信号与来自被说服者#1 阶段 2 的 HbO 信号配对。随后对随机配对的数据集重新计算脑-脑同步并进行 3×2 混合效应方差分析，主要关注交互效应。方法 2 为打乱被试对但保持被试对内部时间序列不变。例如，将说服者#1 的 HbO 信号与被说服者#2 的 HbO 信号配对。该过程重复 5,000 次以评估原始配对脑-脑同步在随机脑-脑同步虚无分布中的位置，从而检验结果稳健性。此外，研究还对随机配对获得的脑-脑同步进行 3×2 混合效应方差分析，以评估原始配对条件下的交互效应 F 值在虚无分布中的位置，进一步验证交互效应的稳健性。

3 结果

对说服者和被说服者的人口统计学变量及事后主观评价进行配对样本 t 检验(双尾)，结果显示二者在这些评分上均未表现出显著差异($-1.79 < ts < 1.51$, $ps > 0.251$)。此外，二者在个人特质相关变量(如, TIPI、STPS、NfC)也未表现出显著差异($-1.18 < ts < 1.34$, $ps > 0.296$)。这些结果证实了同组中说服者和被说服者的随机分配是成功的。

3.1 互动反馈提高说服结果和被说服者感知到的说服力

对说服结果进行 3(组别: 实验组 vs 控制组 1 vs 控制组 2) × 2(阶段: 阶段 1 vs 阶段 2)混合效应方差分析，组别为被试间因素，阶段为被试内因素。结果如图 2A 所示，组别主效应($F(2, 88) = 4.47$, $p = 0.034$, $\eta 2$partial = 0.14)和阶段主效应($F(1, 88) = 21.53$, $p < 0.001$, $\eta 2$partial = 0.44)均显著。此外，组别和阶段的交互效应也显著($F(2, 88) = 20.30$, $p < 0.001$, $\eta 2$partial = 0.42)。简单效应分析发现，实验组中阶段 2 的说服结果(3.71 ± 1.72)显著高于阶段 1(2.18 ± 1.66; $t(32) = -5.66$, $p <0.001$, Cohen's $d = -2.00$); 但在控制组中，阶段 1 和阶段 2 说服结果没有显著差异(控制组 1: 2.28 ± 1.55 vs 2.42 ± 1.45; $t(27) = -1.97$, $p = 0.059$, Cohen's $d = -0.70$; 控制组 2: 2.35 ± 1.82 vs 2.12 ± 1.70; $t(29) = 1.28$, $p = 0.210$, Cohen's $d = 0.45$)。此外，说服结果在阶段 1 没有显著的组间差异($F(2, 88) = 0.90$, $p = 0.865$, $\eta 2$partial = 0.002); 但在阶段 2 中，实验组的说服结果显著高于两个控制组($F(2, 88) = 8.61$, $p < 0.001$, $\eta 2$partial = 0.16; 实验组 vs 控制组 1: $p = 0.002$; 实验组 vs 控制组 2: $p < 0.001$)。这些结果表明，互动反馈有助于提高说服，且这种促进效应不太可能仅由对说服信息的重复加工或人际因素所致。

对感知说服力进行 2(角色: 说服者 vs 被说服者) × 3(组别: 实验组 vs 控制组 1 vs 控制组 2)两因素被试间方差分析。结果发现，交互效应显著($F(2, 88) = 5.77$, $p = 0.022$, $\eta 2$partial = 0.17)。实验组中，被说服者感知到的被说服程度显著高于两个控制组，而两个控制组间没有显著差异(实验组 vs 控制组 1 vs 控制组 2 = 7.56 ± 2.21 vs 6.07 ± 2.10 vs 6.14 ± 2.15)。然而，在说服者感知到的说服对方程度中，三组没有显著差异(7.97 ± 1.33 vs 7.55 ± 1.52 vs 7.29 ± 1.70)。此外，我们还检验了其他潜在因素对说服结果的影响。首先，分别对十项人格问卷、说服易感性量表以及认知需求量表进行了组间比较，结果表明这些变量在组别间的差异均未达到统计显著水平($Fs < 3.16$, corrected $ps > 0.135$)。其次，对这些变量与说服结果进行皮尔逊相关分析，均未发现显著相关($-0.15< rs < 0.22$, corrected $ps > 0.198$)。这些发现进一步证实了，本研究的说服结果不太可能仅由个体特质因素所解释。

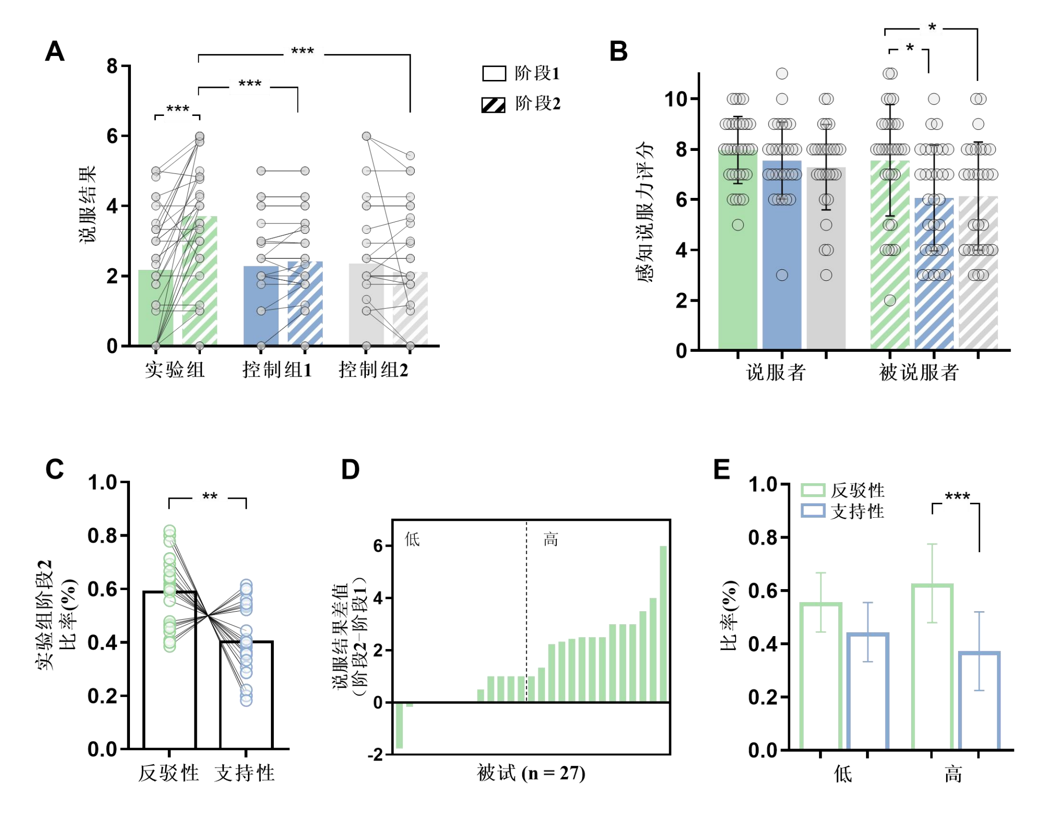


图 2 行为学和视音频解码结果。**(A)**说服结果。**(B)**感知说服力评分结果。**(C)**两种说服策略类型(反驳性策略和支持性策略)比较结果。**(D)**根据说服结果增强(阶段 2-阶段 1)将被试对划分为高/低两组示意。**(E)**两种说服策略在高底分组中的比较结果。

3.2 反驳性策略是互动反馈促进说服的关键

首先，我们比较了实验组和两个控制组在阶段 1 的说服策略使用情况。结果显示，三个组阶段 1 中几乎全部使用了支持性策略(实验组使用支持性策略的比率为 0.95，两个控制组分别为 0.94 和 0.93)，很少使用反驳性说服策略(比率分别为 0.05, 0.06 和 0.07)。采用卡方检验对两种说服策略在不同组别间阶段 1 的使用比较进行比较，发现组间差异不显著($\chi^2(2) = 1.48$, $p = 0.478$)。

接着，我们聚焦于实验组阶段 2，采用配对样本 t 检验比较两种说服策略。结果显示，反驳性策略比率(0.59 ± 0.13)显著高于支持性策略(0.41 ± 0.13; $t(26) = 3.61$, $p < 0.001$, Cohen's $d = 1.42$，如图 2C)。为进一步验证反驳性策略是提高说服的关键，我们计算了说服结果的增强(即，阶段 2 的说服结果减去阶段 1)，根据提高的程度进一步划分为高/低两组: (高提高组: 14 对; 低提高组: 13 对，如图 2D 所示)。采用 2(组别: 高 vs 低) × 2(说服策略: 反驳性 vs 支持性)混合效应方差分析比较高低两组在说服策略比率上的差异。结果发现交互效应显著($F(1, 25) = 13.63$, $p < 0.001$, $\eta 2$partial = 0.43)。简单效应分析表明，高组中反驳性说服策略的比率显著高于支持性说服策略比率(0.63 ± 0.15 vs 0.37 ± 0.15)，但在低组中差异不显著(0.56 ± 0.11 vs 0.44 ± 0.11)。考虑到高低分组后的各组样本量较少，我们还采用 bootstrap 置换检验的方法

对结果进行了再次验证，发现了稳定的效应(高组：差值的 95%CI [0.084 0.426]；低组：差值的 95%CI [-0.022 0.247])。这些发现证实了，相较于阶段 1，阶段 2 中反驳性的说服策略会显著增加，且与阶段 2 说服结果的提高密切相关。

3.3 互动反馈过程增加了说服者-被说服者的脑-脑同步

采用 3(组别) × 2(阶段)混合效应方差分析对感兴趣频段内(0.012~0.028Hz)的 2116 个通道对进行统计检验，并 p 值进行 FDR 校正。由于本研究主要关注组别和阶段的交互效应，因此主要聚焦于交互效应显著的通道对。结果显示，3 个通道对的交互效应显著(通道对 1: CH39_CH1, $F(2, 88) = 22.78$, p(after FDR) = 0.033, $\eta 2$partial = 0.20；通道对 2: CH39_CH5, $F(2, 88) = 39.64$, p(after FDR) = 0.009, $\eta 2$partial = 0.31；通道对 3: CH39_CH26, $F(2, 88) = 18.48$, p(after FDR) = 0.031, $\eta 2$partial = 0.17。前面的 CH 代表说服者，后面的 CH 代表被说服者，见图 3A 白色圈突出)。简单效应分析表明，实验组在阶段 2 的脑-脑同步显著高于阶段 1(阶段 1 vs 阶段 2: CH39_CH1: 0.09 ± 0.05 vs 0.26 ± 0.06; CH39_CH5: 0.03 ± 0.05 vs 0.20 ± 0.06; CH39_CH26: 0.15 ± 0.06 vs 0.30 ± 0.07; $ts \geq 3.01$, ps(after FDR) ≤ 0.046, Cohen's $ds \geq 1.06$)。但在控制组 1 中，阶段 1 和阶段 2 的脑-脑同步差异不显著(CH39_CH1: 0.09 ± 0.05 vs -0.07 ± 0.06; CH39_CH5: 0.06 ± 0.05 vs -0.10 ± 0.07; CH39_CH26: 0.07 ± 0.08 vs -0.04 ± 0.05; $-2.14 < ts < 1.78$, $ps > 0.127$ after FDR)；控制组 2 中，阶段 1 脑-脑同步显著高于阶段 2(CH39_CH1: 0.04 ± 0.08 vs -0.15 ± 0.09; CH39_CH5: 0.09 ± 0.07 vs -1.93 ± 0.07; CH39_CH26: 0.08 ± 0.07 vs -0.09 ± 0.07; $ts \geq 3.45$, ps(after FDR) ≤ 0.045, Cohen's $ds \geq 1.02$)。此外，实验组和两个控制组在阶段 1 的脑-脑同步没有显著差异(ps(after FDR) > 0.143)。但在第二阶段中，实验组的脑-脑同步显著高于控制组 1 和控制组 2(CH39_CH1: $F(2, 88) = 11.98$, p(after FDR) = 0.040, $\eta 2$partial = 0.12; CH39_CH5: $F(2, 88) = 21.46$, p(after FDR) = 0.022, $\eta 2$partial = 0.19; CH39_CH26: $F(2, 88) = 10.95$, p(after FDR) = 0.044, $\eta 2$partial = 0.11)。

值得注意的是, CH39_CH1 和 CH39_CH5 中的 CH39 属于同一通道，且 CH1 和 CH5 在大脑皮层上空间位置上属于同脑区(右侧额中回，见图 3B)。我们将这两个通道对的脑-脑同步平均并命名为 Cluster 1(位于说服者左侧颞上回和被说服者右侧额中回)；通道对 CH39_CH26 命名为 Cluster2(位于说服者和被说服者的左侧颞顶区域)。对 Cluster1 重新进行混合效应方差分析，交互效应仍然显著，$F(2, 88) = 32.02$, $p < 0.001$ after FDR, $\eta 2$partial = 0.32, 图 3C)，简单效应分析也与单个通道对效应一致。鉴于上述，后续的脑-脑同步分析主要基于 Cluster1 和 Cluster2。最后，还对发现的两个显著 Cluster 进行有效性验证。基于方法 1，打乱条件下的两个 Cluster 脑-脑同步交互效应均未达到显著性($Fs < 1.87$, ps(after FDR) > 0.341,

图 3D)。其次，基于方法 2，对交互效应的真实脑-脑同步(相干值)和方差分析(F 值)在随机虚无分布中的分布进行检验。结果表明，真实交互效应的脑-脑同步相干值(图 3E)和交互效应 F 值(图 3F)均显著高于随机打乱下的虚无分布。

在格兰杰因果上，单样本 t 检验主要发现实验组的两个阶段以及两个控制组阶段 1 显著的 GCA 值(Cluster1: $ts \geq 2.97$, $ps \leq 0.038$ after FDR, Cohen's $ds \geq 1.01$; Cluster2: $ts \geq 2.76$, $ps \leq 0.045$ after FDR, Cohen's $ds \geq 1.00$)。接着，3(组别) × 2(阶段)× 2(方向)混合效应方差分析发现，Cluster1 组别主效应显著($F(2, 88) = 4.28$, $p = 0.038$, $\eta 2$partial = 0.13)，实验组 GCA 值显著大于两个控制组(控制组 1: $p = 0.04$；控制组 2: $p < 0.001$)。组别和阶段的交互显著($F(2, 88) = 7.68$, $p < 0.001$, $\eta 2$partial = 0.27)。不同组别在阶段 1 的 GCA 值没有显著差异($ps > 0.624$)，但实验组的阶段 2 的 GCA 值显著大于两个控制组($ps < 0.001$)。更重要的是，组别、阶段和方向三阶交互效应显著($F(2, 88) = 6.49$, $p < 0.001$, $\eta 2$partial = 0.24)。在实验组中，说服者→被说服者 GCA 值在阶段 1 和阶段 2 没有显著差异(0.05 ± 0.01 vs 0.07 ± 0.02, $p = 0.074$)，但被说服者→说服者 GCA 值在阶段 2 显著强于阶段 1(0.03 ± 0.01 vs 0.06 ± 0.02, $p = 0.002$)；而在控制组 1 中，说服者→被说服者(0.04 ± 0.01 vs 0.03 ± 0.01)与被说服者→说服者(0.03 ± 0.01 vs 0.02 ± 0.01)GCA 值在阶段 1 和阶段 2 均没有显著差异($ps > 0.147$)；在控制组 2 中，说服者→被说服者(0.05 ± 0.01 vs 0.02 ± 0.01, $p = 0.007$)与被说服者→说服者(0.03 ± 0.01 vs 0.01 ± 0.01, $p = 0.014$)GCA 值均在阶段 1 强于阶段 2。

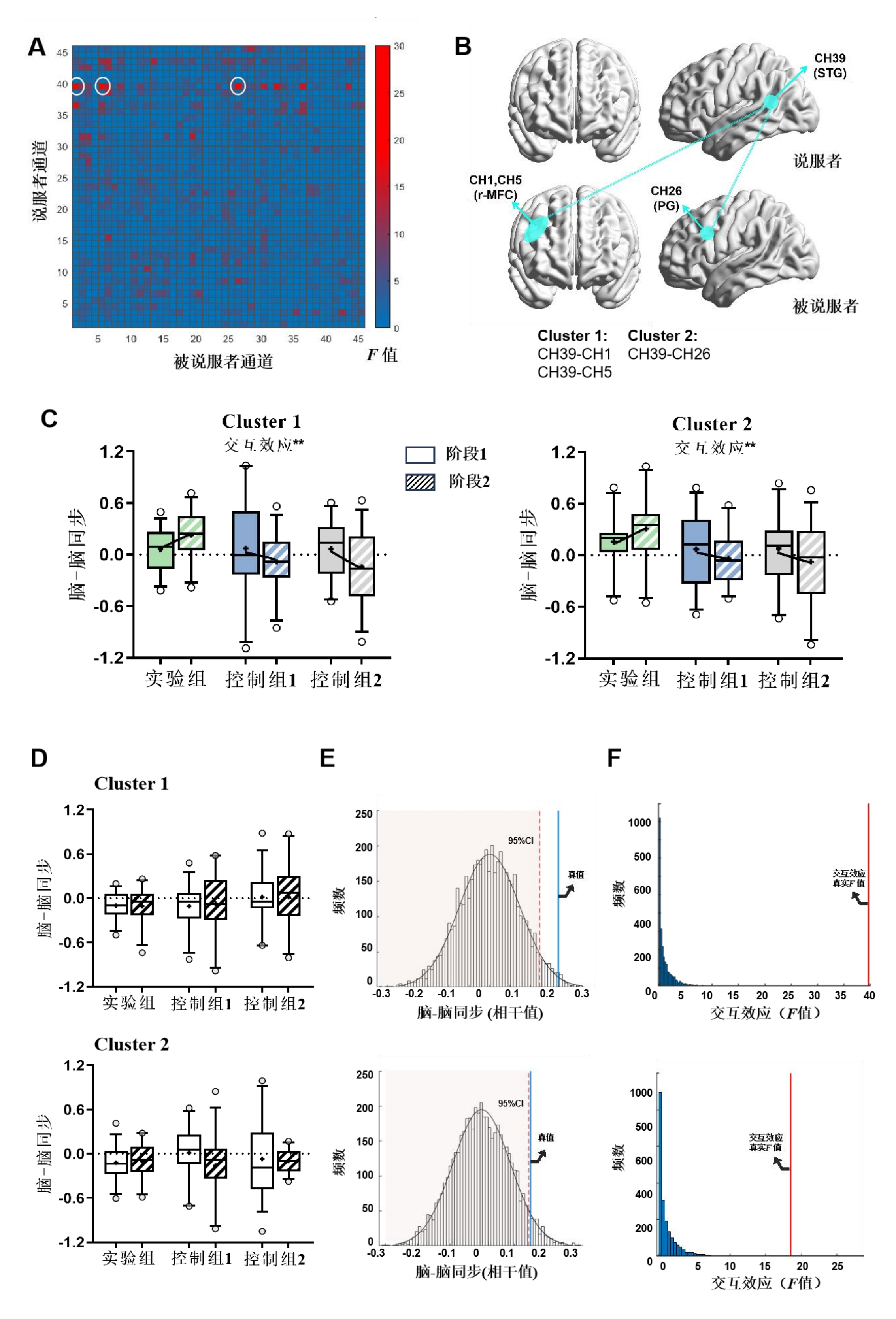


图 3 脑-脑同步结果。(A)2116 个通道对效应效应 F 值。经 FDR 校正后显著的 3 个通道对被白色圈突出显示。**(B)**3 个显著通道对的空间位置示意。基于通道对所在脑区的空间分布，将 CH39_CH1 和 CH39_CH5 这两个空间分布相邻的通道对合并命名为 Cluster1；将 CH39_CH26 命名为 Cluster2。**(C)**合并后的 Cluster1 和 Cluster2 脑-脑同步交互效应结果。**(D-F)**脑-脑同步有效性验证。D.被试对不打乱，内部阶段打乱方法对脑-脑同步的有效性检验；E.真实数据集交互效应的脑-脑同步显著高于随机打乱下的脑

-脑同步虚无分布。红色虚线为95%置信区间，蓝色实线为脑-脑同步相干值的真实值位置; F. 原始配对下的交互效应(*F* 值)显著大于随机配对条件的虚无分布，蓝色实线为交互效应真实值。

3.4 脑-脑同步预测互动反馈说服过程中说服结果和说服结果的增强

采用多元回归分析检验脑-脑同步能否有效预测随后的说服结果。具体而言，依次以两个 Cluster 脑-脑同步在阶段 1、阶段 2、以及脑-脑同步增强(阶段 2-阶段 1)为预测变量，以阶段 1、阶段 2 的说服结果、以及说服结果的增强(阶段 2-阶段 1)作为因变量进行多元回归分析。结果如表 1 所示，仅在实验组的阶段 2 和阶段 2-阶段 1 中发现显著的回归模型。具体而言, Cluster1 的脑-脑同步正向预测了说服结果($\beta = 0.49$, $p = 0.026$)和说服结果的增强($\beta = 0.49$, $p = 0.033$)。

表 1 脑-脑同步对说服结果的预测

分组模型	模型参数	标准化回归系数 (β)	显著性 (corrected-*p*)
实验组(n=33)			
阶段 1	$R^2 = 0.085$	Cluster 1 = -0.04	0.644
	$F = 0.89$	Cluster 2 = -0.08	0.596
	$p = 0.943$		
阶段 2	$R^2 = 0.386$	**Cluster 1 = 0.49**	**0.026**
	$F = 4.56$	Cluster 2 = 0.24	0.092
	$p = 0.024$		
阶段 2-阶段 1	$R^2 = 0.401$	**Cluster 1 = 0.41**	**0.033**
	$F = 4.12$	Cluster 2 = 0.21	0.108
	$p = 0.032$		
控制组 1(n = 28)			
阶段 1	$R^2 = 0.08$	Cluster 1 = -0.18	0.241
	$F = 0.04$	Cluster 2 = 0.03	0.633
	$p = 0.943$		
阶段 2	$R^2 = 0.105$	Cluster 1 = -0.16	0.279
	$F = 1.46$	Cluster 2 = -0.07	0.543
	$p = 0.694$		
阶段 2-阶段 1	$R^2 = 0.104$	Cluster 1 = -0.03	0.714
	$F = 0.56$	Cluster 2 = 0.10	0.369
	$p = 0.889$		
控制组 2(n = 30)			
阶段 1	$R^2 = 0.188$	Cluster 1 = 0.13	0.269
	$F = 1.16$	Cluster 2 = 0.05	0.643
	$p = 0.623$		
阶段 2	$R^2 = 0.06$	Cluster 1 = 0.05	0.677
	$F = 0.69$	Cluster 2 = -0.05	0.609
	$p = 0.842$		
阶段 2-阶段 1	$R^2 = 0.113$	Cluster 1 = -0.19	0.247

$F = 1.07$ $p = 0.746$	Cluster 2 = 0.17	0.288

3.5 脑-脑同步识别互动反馈说服过程中的不同说服策略

为了进一步验证脑-脑同步能否识别更有效的说服策略，研究将实验组阶段 2 的脑-脑同步与支持性和反驳性说服策略相应的时间段匹配，提取每种策略下的脑-脑同步值并在相同策略内求平均(图 4A&C 示意)。接着，对两种策略的脑-脑同步进行配对样本 *t* 检验。如图 4D 所示，Cluster1 存在显著差异($t(26) = 2.96$, p(after FDR) = 0.023, Cohen's $d = 0.97$)，反驳性说服策略下的脑-脑同步(0.37 ± 0.37)显著大于支持性说服策略下的脑-脑同步(0.18 ± 0.30)。然而，Cluster2 未发现显著差异(0.29 ± 0.26 vs 0.26 ± 0.24, $t(26) = 0.72$, p(after FDR) = 0.582, Cohen's $d = 0.13$)。此外，为排除这里发现的脑-脑同步差异仅由时长差异所致(Reinero et al., 2021)，我们还进行了两项补充分析。首先，计算了脑-脑同步与两种说服策略时长的相关，结果发现相关均不显著($-0.04 < rs < 0.06$, $ps > 0.776$)。接着，将两种策略下的脑-脑同步为固定因子，时长为协变量，说服策略类型为因变量，进行一般线性模型分析。结果表明，先前的效应仍然稳定(Cluster1: $F(2, 25) = 8.73$, $p = 0.011$, $\eta 2$partial = 0.24)。

此外，研究还对每种说服策略前后 8 秒的脑-脑同步时间进程进行了分析。结果发现，在 Cluster1 上，反驳性策略出现后而非之前，脑-脑同步逐步增强(图 4E 左，绿色标记)，但在支持性说服策略前后，没有发现脑-脑同步明显的变化(图 4E 左，蓝色标记)。在 Cluster2 上未发现明显的脑-脑同步随时间的变化效应((图 4E 右)。综上，这些发现揭示了互动反馈说服下更高的脑-脑同步主要受反驳性说服策略引导，且增强的脑-脑同步不能被单纯的时长效应所解释。

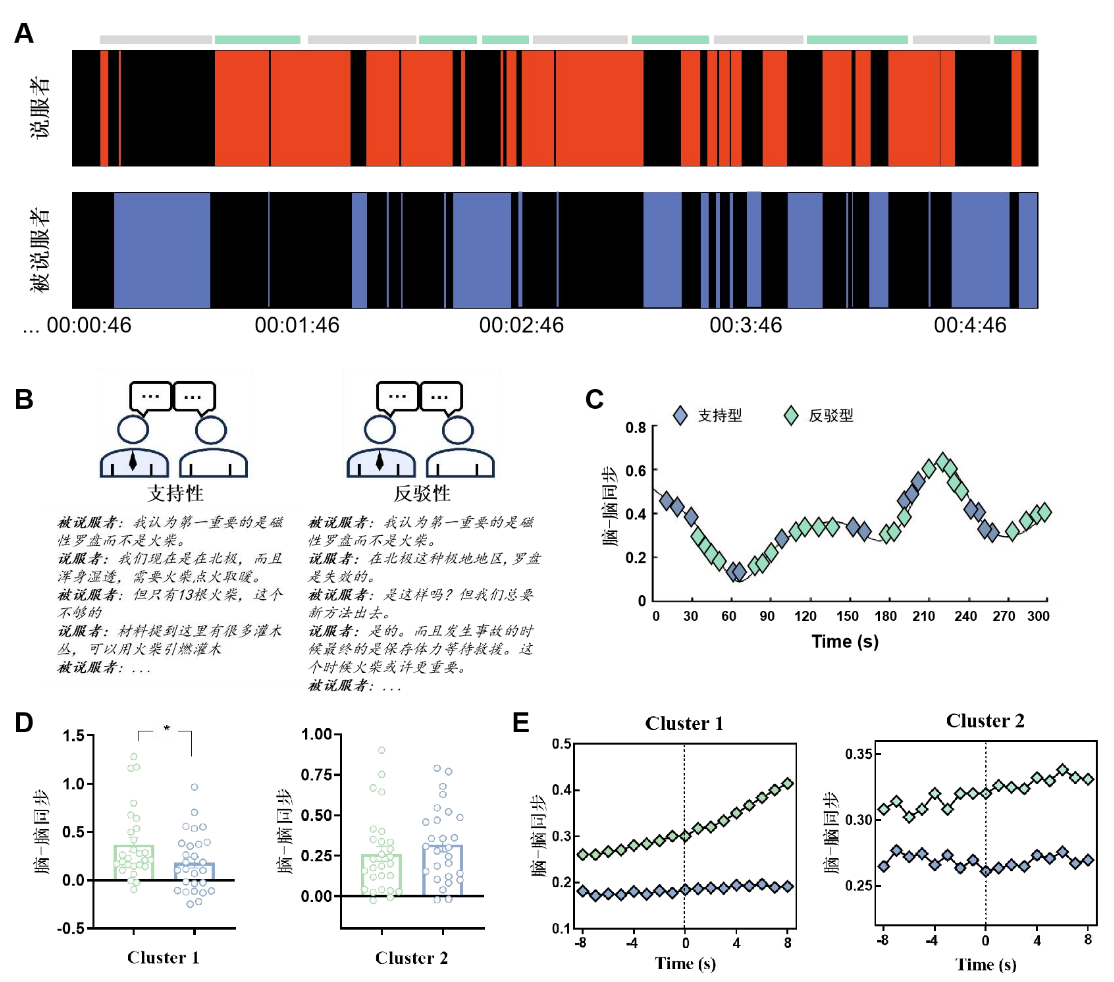


图 4 脑-脑同步联合视音频解码结果。(A)手动逐帧编码示意。彩色阴影区域代表该阶段说服者/被说服者正在发言，正上方不同颜色的长条代表两种不同说服策略。(B)支持性和反驳性说服策略示意。(C)两种说服策略在任务过程中的动态示意。(D)两种策略脑-脑同步差异性比较。(E)说服策略出现前/后 8 秒脑-脑同步动态变化示意。

4 讨论

本研究结合近红外功能成像技术，旨在探究互动反馈过程如何影响说服效应，并揭示其背后的认知和人际神经基础。从行为学结果上，本研究首先证实了互动反馈能够有效促进说服，这从被说服人数的增多以及被说服者物品改变的数量(即，说服结果)上均得到体现。此外，尽管互动反馈显著提高了说服结果，但我们也发现在阶段 1(即无互动反馈阶段)中，被说服者在一定程度上也被说服并改变了他们选择的物品。该发现支持了传统说服性论点理论(Persuasive Arguments Theory, PAT)，即说服确实可以通过一次性的信息传播实现(Vinokur & Burnstein, 1978)，但在说服程度上较弱。主观报告上，我们发现互动反馈下被说服者感知到的说服力更强，但说服者感知到说服对方的程度未在各组之间表现出差异。这一结果可能的

解释是，在控制组中，由于说服者无法从被说服者获得即时、明确的反馈来判断说服效果，而仅依赖于自身感知到的任务表现以及对方的一些非语言信号(如，眼神、点头等)，因而难以准确评估其说服效果(Li et al., 2023)。此外，由于控制组仅允许说服者发言，导致其在任务过程中掌握主导权，更容易高估自身的说服力。总之，这些发现再次证实了自我报告法作为评估说服力的传统方法，存在认知偏差和情感偏差等局限，这也促使更多研究者结合行为和生理测量等客观测量方法提高说服预测的准确性和有效性。

更重要的是，本研究通过对互动反馈过程进行视音频解码，为互动反馈如何促进说服提供了认知层面的解释。我们发现，在互动反馈说服的过程中，相较于支持性说服策略，说服者会更频繁地使用反驳性说服策略，且该策略被证实在说服结果提高更大的群体中(高组)使用频率更高。这些发现为反驳性策略在互动反馈促进说服中关键作用提供了强有力的佐证。支持性策略通常指说服者通过提供支持自身观点的论据以说服对方，而反驳性策略则指说服者通过提供反对被说服者观点的论据以说服对方。因此，我们的发现证实了，互动反馈不仅仅意味着更多论点的出现，更重要的是，说服者正面面对与其相反的论点，通过反驳而非忽视这些论点，从而提高说服效应(Eisend, 2006)。即所谓让被说服者"除了知道对方为什么是对的，还知道自己为什么是错的"，从而有效激发其后续态度和行为改变(Liu & Shrum, 2009)。这些发现也为未来相关领域研究中(如，师生互动教学中的错误纠正、医患沟通中增强病人医嘱遵从行为)制定有效的说服干预策略提供了重要指导意义。

在神经活动上，说服者与被说服者的脑-脑同步表现出与行为学一致的效应，即实验组阶段 2 的脑-脑同步显著高于阶段 1 以及两个控制条件。脑-脑同步主要包括两个跨脑区的通道对(CH39-CH1 和CH39-CH5，说服者左侧颞上回和被说服者右侧额中回)和一个同区域通道对(CH39-CH26，说服者和被说服者的左侧颞顶区域)。这些脑区在以往研究中被发现与信息成功传播以及态度、行为改变等说服功能密切相关(Cacioppo et al., 2018; Falk et al., 2015)。右侧额中回在编码说服信息和行为执行中发挥重要作用，左侧颞上回则参与考虑他人的意图和观点并实施有说服力的沟通，左侧颞顶联合区则参与推断他人目标和心理意图、策略调整等多种心智化过程(Dikker et al., 2014; Samson et al., 2004; Xie et al., 2020)。对神经信号的格兰杰因果分析则进一步揭示了脑-脑同步的方向性特征，阐明其在说服者和被说服者之间的互动模式。在无互动反馈的阶段 1 中，说服者→被说服者显著强于被说服者→说服者，即出现明显的被说服者追随说服者的模式，这与我们先前的研究发现一致(Li et al., 2023)。但在互动反馈的阶段 2，由于被说服者也积极参与到说服的过程，致使其也能积极预测说服者的意图和所述内容，从而导致被说服者→说服者的GCA值显著增强。综合上，这些发现揭示了

互动反馈的说服过程并非单纯从说服者到被说服者的信息流，而是双向流动，从而在脑-脑同步上呈现互为因果的双向特征。此外，多元回归分析证实了脑-脑同步作为说服效应的人际神经预测器(Falk et al., 2011)。我们发现，说服者左侧颞上回和被说服者右侧额中回的脑-脑同步对说服结果有正向预测作用。并且，脑-脑同步的增强也正向预测了说服结果的提高，为互动反馈下增强的说服结果主要由增强的脑-脑同步所驱动提供有力的佐证。综上，本研究支持这样一种观点，即说服者和被说服者的脑-脑同步是综合驱动双方在认知上达成共识的重要神经基础，从而促进了被说服者随后态度以及行为的改变。

更重要的是，在真实的说服交流中，由于个体在整个说服过程中会不断转换说服策略，因此难以对不同说服策略的效用进行有效分离。为此，本研究尝试采用视音频解码说服策略联合脑-脑同步指标解答这一问题。通过对两种说服策略下脑-脑同步比较，我们发现反驳性策略下的脑-脑同步显著高于支持性策略的脑-脑同步，且在该策略出现之后，而非之前，脑-脑同步逐渐增强。该发现验证了反驳性策略是促进说服的关键策略，且说服者左侧颞上回和被说服者右侧额中回的脑-脑同步有效追踪和识别了该策略。然而，尽管左侧颞顶区域的脑-脑同步也存在显著条件间差异，但对说服结果的预测性较差，也未能有效识别和区分两种不同的说服策略。对此结果可能的两种解释：一方面，说服过程中说服者和被说服者会实时加工和理解对方的信息，同时揣测和预期对方的回应。因此，与言语沟通和理解、心理理论密切相关左侧颞顶脑区参与了说服的基础认知过程(van Overwalle, 2009)。换句话说，而无论说服成功与否，这些脑区在说服任务中均可能表现出较强的同步，以负责双方基本的言语沟通和理解(Jiang et al., 2015)。另一方面，左侧颞顶还可能参与到了说服过程中更复杂的认知加工过程，如多通道信息的整合、抑或表征了本研究中尚未考虑的其他认知心理过程，仍有待进一步证实。

综上，本研究为探讨人际沟通情境下说服行为和神经机制提供了新视角，但仍存在一些局限性。首先，由于本研究仅招募了女性被试，因此当前的研究发现是否能够拓展到男性组合以及异性组合，还有待进一步核实。未来研究可扩大样本量，进一步阐明互动反馈对人际说服的影响是否受到性别构成的调节。其次，说服过程中的情绪体验也可能是影响脑-脑同步的潜在因素。未来研究可进一步将情绪测量纳入其中，采用自我报告、面部表情分析、皮肤电反应等手段记录和分析不同说服策略前后的情绪变化，以检验不同策略如何影响情绪，以及这种影响如何与脑-脑同步共同作用于说服效果。这将为更深刻、全面地理解复杂的人际说服过程提供更多研究视角。此外，本研究仅聚焦于成人被试，未来研究可以从发展的视角扩展至不同年龄段儿童和青少年、乃至跨文化背景，探究有说服力的沟通策略的发展

规律，为促进个体社会交往和发展提供理论和实践指导。最后，尽管 fNIRS 技术在一定程度上限制了观测到的皮层范围，且无法提供大脑深部信息(如，楔前叶、前扣带皮层等)。然而，随着 fNIRS 技术和相关算法的进步(如，基于皮层推断深部活动)，这一局限有望在未来得到弥补(Reiss et al., 2015)。

参 考 文 献

Arceneaux, K., & Vander Wielen, R. J. (2017). Taming intuition: How reflection minimizes partisan reasoning and promotes democratic accountability. *Cambridge University Press*.

Ayrolles, A., Brun, F., Chen, P., Djalovski, A., Beauxis, Y., Delorme, R., Bourgeron, T., Dikker, S., & Dumas, G. (2021). HyPyP: a Hyperscanning python pipeline for inter-brain connectivity analysis. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*. *16*(1–2), 72–83.

Baek, E. C., & Falk, E. B. (2018). Persuasion and influence: what makes a successful persuader?. *Current Opinion in Psychology*, *24*, 53–57.

Barasch, A., & Berger, J. (2014). Broadcasting and narrowcasting: how audience size affects what people share. *Journal of Marketing Research*, *51*(3), 286–299.

Barnett, L., & Seth, A. K. (2014). The MVGC multivariate granger causality toolbox: A new approach to granger causal inference. *Journal of Neuroscience Methods*, 223, 50–68.

Berger, J. (2014). Word of mouth and interpersonal communication: a review and directions for future research. *Journal of Consumer Psychology*, *24*(4), 586–607.

Binder, A., Naderer, B., & Matthes, J. (2021). Shaping healthy eating habits in children with persuasive strategies: Toward a typology. *Frontiers in Public Health*, *9*, 676127.

Cacioppo, J. T., Cacioppo, S., & Petty, R. E. (2018). The neuroscience of persuasion: A review with an emphasis on issues and opportunities. *Social neuroscience*, *13*(2), 129–172.

Cacioppo, J. T., Petty R. E., & Feng Kao, C. (1984). The efficient assessment of need for cognition. *Journal of personality assessment*, 48(3), 306–307.

Cascio, C. N., Scholz, C., & Falk, E. B. (2015). Social influence and the brain: persuasion, susceptibility to influence and retransmission. *Current opinion in behavioral sciences*, *3*, 51–57.

Cooper, J., Blackman, S., & Keller, K. (2015). The Science of attitudes. New York, NY: Routledge.

Couzin, I. D. (2018). Synchronization: the key to effective communication in animal collectives. *Trends in cognitive sciences*, *22*(10), 844–846.

Cope, M., & Delpy, D. T. (1988). System for long-term measurement of cerebral blood and tissue oxygenation on newborn infants by near infrared transillumination. *Medical and Biological Engineering and Computing*, *26*, 289–294.

Dai, B., Chen, C., Long, Y., Zheng, L., Zhao, H., Bai, X., ... & Lu, C. (2018). Neural mechanisms for selectively tuning in to the target speaker in a naturalistic noisy situation. *Nature communications*, *9*(1), 1–12.

Dietvorst, R. C., Verbeke, W. J. M, Bagozzi, R. P., Yoon, C., Smits, M., & van der Lugt, A. (2009). A sales force–specific theory-of-mind scale: tests of its validity by classical methods and functional magnetic resonance imaging. *Journal of Marketing Research*, *46*(5), 653–668.

Dikker, S., Wan, L., Davidesco, I., Kaggen, L., Oostrik, M., McClintock, J., ... & Poeppel, D. (2017). Brain-to-brain synchrony tracks real-world dynamic group interactions in the classroom. *Current Biology*, *27*(9), 1375–1380.

Di Plinio, S., Aquino, A., Haddock, G., Alparone, F. R., & Ebisch, S. J. (2023). Brain and behavioral contributions

to individual choices in response to affective–cognitive persuasion. *Cerebral Cortex*, *33*(5), 2361–2374.

Dmochowski, J. P., Bezdek, M. A., Abelson, B. P., Johnson, J. S., Schumacher, E. H., & Parra, L. C. (2014). Audience preferences are predicted by temporal reliability of neural processing. *Nature communications*, *5*(1), 4567.

Duan, L., Zhao, Z., Lin, Y., Wu, X., Luo, Y., & Xu, P. (2018). Wavelet-based method for removing global physiological noise in functional near-infrared spectroscopy. *Biomedical Optics Express*, *9*(8), 3805–3820.

Eagly, A. H. (2009). The his and hers of prosocial behavior: An examination of the social psychology of gender. *American Psychologist*, 64(8), 644–658.

Eisend, M. (2010). Explaining the joint effect of source credibility and negativity of information in two-sided messages. *Psychology & Marketing*, *27*(11), 1032–1049.

Eisend, M. (2006). Two-sided advertising: A meta-analysis. *International Journal of Research in Marketing*, *23*(2), 187–198.

Falk, E. B., Berkman, E. T., Whalen, D., & Lieberman, M. D. (2011). Neural activity during health messaging predicts reductions in smoking above and beyond self-report. *Health Psychology*, *30*(2),177–185.

Falk, E. B., Cascio, C. N., & Coronel, J. C. (2015). Neural prediction of communication relevant outcomes. *Communication Methods and Measures*, *9*(1–2), 30–54.

Falk, E. B., & Scholz, C. (2018). Persuasion, influence, and value: perspectives from communication and social neuroscience. *Annual Review of Psychology*, *69*(1), 329–356.

Grinsted, A., Moore, J. C., & Jevrejeva, S. (2004). Application of the cross wavelet transform and wavelet coherence to geophysical time series. *Nonlinear Process Geophys*, 11(5/6), 561–566.

Imhof, M. A., Schmälzle, R., Renner, B., & Schupp, H. T. (2020). Strong health messages increase audience brain coupling. *NeuroImage*, *216*, 16527.

Jensen, B. (1973). Human reciprocity: an arctic exemplification. *American Journal of Orthopsychiatry*, *43*(3), 447–458.

Kingsbury, L., Huang, S., Wang, J., Gu, K., Golshani, P., Wu, Y. E., & Hong, W. (2019). Correlated neural activity and encoding of behavior across brains of socially interacting animals. *Cell*, *178*(2), 429–446.

Koriat, A., & Adiv, S. (2011). The construction of attitudinal judgments: Evidence from attitude certainty and response latency. *Social Cognition, 29*(5), 577–611.

Gosling, S. D., Rentfrow, P. J., & Swann, Jr W. B. (2003). A very brief measure of the Big-Five personality domains. *Journal of Research in personality*, 37(6), 504–528.

Jiang, J., Chen, C., Dai, B., Shi, G., Ding, G., Liu, L., & Lu, C. (2015). Leader emergence through interpersonal neural synchronization. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *112*(14), 4274–4279.

Li, R., & Sundar, S. S. (2022). Can interactive media attenuate psychological reactance to health messages? A study of the role played by user commenting and audience metrics in persuasion. *Health Communication*, *37*(11), 1355–1367.

Li, Y., Luo, X., Wang, K., & Li, X. (2023). Persuader-receiver neural coupling underlies persuasive messaging and predicts persuasion outcome. *Cerebral Cortex*, *33*(11), 6818–6833.

Limbu, Y. B., Jayachandran, C., Babin, B. J., & Peterson, R. T. (2016). Empathy, nonverbal immediacy, and salesperson performance: the mediating role of adaptive selling behavior. *Journal of Business & Industrial Marketing*, *31*(5), 654–667.

Liu, Y., & Shrum, L. J. (2009). A dual-process model of interactivity effects. *Journal of Advertising*, *38*(2), 53–68.

Lloyd-Fox, S., Blasi, A., & Elwell, C. E. (2010). Illuminating the developing brain: the past, present and future of functional near infrared spectroscopy. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews. 34*(3), 269–284.

Modic, D., Anderson, R., & Palomäki, J. (2018). We will make you like our research: The development of a susceptibility-to-persuasion scale. *PloS One*, *13*(3), e0194119.

Molavi, B., & Dumont, G. A. (2012). Wavelet-based motion artifact removal for functional near-infrared spectroscopy. *Physiological Measurement*, *33*(2), 259.

O'Keefe, D. J. (2016). Persuasion and social influence. *The international encyclopedia of communication theory and philosophy*, 1-19.

Pan, Y., Cheng, X., & Hu, Y. (2023). Three heads are better than one: cooperative learning brains wire together when a consensus is reached. *Cerebral Cortex*, *33*(4), 1155–1169.

Petty, R. E., & Briñol, P. (2015). Emotion and persuasion: Cognitive and meta-cognitive processes impact attitudes. *Cognition and Emotion*, *29*(1), 1–26.

Pinti, P., Merla, A., Aichelburg, C., Lind, F., Power, S., Swingler, E., ... & Tachtsidis, I. (2017). A novel GLM-based method for the Automatic IDentification of functional Events (AIDE) in fNIRS data recorded in naturalistic environments. *Neuroimage*, *155*, 291–304.

Reinero, D. A., Dikker, S., & Van Bavel, J. J. (2021). Inter-brain synchrony in teams predicts collective performance. *Social cognitive and affective neuroscience*, *16*(1–2), 43–57.

Reiss, A. L., Bryant, D. M., Glover, G. H., Liu, N., & Cui, X. (2015). Inferring deep-brain activity from cortical activity using functional near-infrared spectroscopy. *Biomedical Optics Express*, *6*(3), 1074–1089.

Samson, D., Apperly, I. A., Chiavarino, C., & Humphreys, G. W. (2004). Left temporoparietal junction is necessary for representing someone else's belief. *Nature neuroscience*, *7*(5), 499–500.

Sasai, S., Homae, F., Watanabe, H., & Taga, G. (2011). Frequency-specific functional connectivity in the brain during resting state revealed by NIRS. *NeuroImage*, *56*(1), 252–257.

Shamay-Tsoory, S. G., & Mendelsohn, A. (2019). Real-life neuroscience: an ecological approach to brain and behavior research. *Perspectives on Psychological Science*, *14*(5), 841–859.

Scholz, C., Baek, E. C., O'Donnell, M. B., Kim, H. S., Cappella, J. N., & Falk, E. B. (2017). A neural model of valuation and information virality. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *114*(11), 2881–2886.

Schmälzle, R., Häcker, F. E., Honey, C. J., & Hasson, U. (2015). Engaged listeners: shared neural processing of powerful political speeches. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, *10*(8), 1137–1143.

Singh, A. K., Okamoto, M., Dan, H., Jurcak, V., & Dan, I. (2005). Spatial registration of multichannel multi-subject fNIRS data to MNI space without MRI. *NeuroImage*, *27*(4), 842–851.

Tsuzuki, D., Jurcak, V., Singh, A. K., Okamoto, M., Watanabe, E., & Dan, I. (2007). Virtual spatial registration of stand-alone fNIRS data to MNI space. *NeuroImage*, *34*(4),1506–1518.

Van Duijvenvoorde, A. C., Peters, S., Braams, B. R., & Crone, E. A. (2016). What motivates adolescents? Neural responses to rewards and their influence on adolescents' risk taking, learning, and cognitive control. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *70*, 135–147.

Vinokur, A., & Burnstein, E. (1978). Depolarization of attitudes in groups. *Journal of Personality and Social Psychology*, *36*(8), 872–885.

Wallace, L. E., Wegener, D. T., & Petty, R. E. (2020). When Sources honestly provide their biased opinion: Bias as a distinct perception with independent effects on credibility and persuasion. *Personality and Social Psychology Bulletin*, *46*(3), 439–453.

Xie, H., Karipidis, I. I., Howell, A., Schreier, M., Sheau, K. E., Manchanda, M. K., ... & Saggar, M. (2020). Finding the neural correlates of collaboration using a three-person fMRI hyperscanning paradigm. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *117*(37), 23066–23072.

Xu, M., & Petty, R. E. (2022). Two-sided messages promote openness for morally based attitudes. *Personality and*

social psychology bulletin, *48*(8), 1151–1166.
Zhao, H., Cheng, T., Zhai, Y., Long, Y., Wang, Z., & Lu, C. (2021). How mother–child interactions are associated with a child’s compliance. *Cerebral Cortex*, *31*(9), 4398–4410.
Zhu Y, & Hu Y. (2024). Chunking feedback in instructor-learner interaction facilities long-term learning transfer: Behavioral and fNIRS hyperscanning studies. *Acta Psychologica Sinica*, *56*(5), 555–576.
[朱怡，胡谊. (2024). 师生互动中组块化反馈促进长时学习迁移：行为和近红外超扫描研究. *心理学报*, 56(5), 555–576.]

Interactive Feedback in persuader-persuadee interaction Enhances Persuasion: An fNIRS hyperscanning study

LI Yangzhuo[1,2], ZHANG Ruqian[4], SONG Sensen[5], LI Xianchun[3], LUO Junlong[1,2]

([1]*School of Psychology, Shanghai Normal University, Shanghai* 200234, *China*) ([2]*Lab for Educational Big Data and Policymaking, Ministry of Education, Shanghai Normal University, Shanghai* 200234, *China*) ([3]*School of Psychology and Cognitive Science, East China Normal University, Shanghai 200062*, *China*) ([4]*Psychological Counseling Center, Shanghai University, Shanghai*, 200444, *China*) ([5]*School of Psychology, Central China Normal University,Wuhan* 430079, *China*)

Persuasion is a fundamental social skill in humans, serving as a crucial foundation for information propagation and social influence. Existing research has predominantly focused on a mechanical understanding of persuasive content, overlooking the interactive nature of persuasion. The current study investigates the effects of interactive feedback on interpersonal persuasion and its underlying neurocognitive mechanisms, utilizing a dyadic persuasion paradigm with high ecological validity in combination with functional near-infrared spectroscopy (fNIRS).

Participants visited the laboratory on two occasion to complete all tasks: the item selection task (first visit) and the fNIRS hyperscanning dyadic persuasion task (second visit). In the item selection task, participants attended the laboratory individually, where they were instructed to read the Arctic survival scenario, select the three most critical items from a list of 15 items, and rank them according to their significance for survival. The fNIRS hyperscanning task consisted of two phase: a no-discussion phase (no feedback) and a discussion phase (feedback). Additionally, to eliminate the confounding effects of interactive feedback on persuasion that might arise from repeated information processing (e.g., repeated exposure to persuasive content enhancing persuasion) or interpersonal factors (e.g., intimacy, interpersonal distance), two control conditions were included. In control condition 1, both task parts were identical. In control condition 2, phase two involved independent thinking phase, where participants were asked to reflect independently on the other person's opinions and complete the item selection task. This study primarily focuses on the prefrontal cortex and the left temporoparietal regions.

The behavioral results indicate that, compared to the no interactive feedback condition,

interactive feedback enhanced both persuasion outcomes and perceived persuasiveness. In neural activity, our results showed that interactive feedback strengthened brain-to-brain synchrony between the persuader and the persuadee in the right frontal cortex and left temporoparietal regions, with this synchrony positively predicting persuasion outcomes. Granger causality results further revealed the directional characteristics of the brain-to-brain synchrony, shedding light on the interaction patterns between the persuader and the persuadee during persuasive interaction. Regarding the use of persuasion strategies, compared to supportive strategy, persuaders in the interactive feedback phase more frequently employed refutational strategies. Furthermore, brain-to-brain synchrony under the refutational strategy was significantly higher than under the supportive strategy. Moreover, brain-to-brain synchrony gradually increased after, rather than before, the refutational strategy was employed. This finding confirms that refutational strategies are crucial for promoting persuasion, with the brain-to-brain synchrony between the persuader's left superior temporal gyrus and the persuadee's right frontal gyrus effectively tracking and identifying the use of this strategy.

In summary, brain-to-brain synchrony serves as a critical neural mechanisms that drives the persuader and persuadee to reach cognitive consensus, thereby facilitating subsequent changes in the persuadee's attitudes and behaviors. The current study provides a novel perspective on how interactive feedback enhances interpersonal persuasion and contributes to a deeper understanding of the complex and authentic persuasion processes through interpersonal neuroscience.

Keywords Persuasion, Interactive Feedback, persuasion strategy, fNIRS hyperscanning, brain-to-brain synchronization

附录 1：北极求生任务材料

境况

你和你的同伴于本月末前往北极完成一项调查工作,大约在出发的第二天上午 10 点左右，你们所搭乘的小飞机在靠近北极圈劳拉湖(LauraLake)东岸附近的片雪地上意外坠毁，机体爆炸后完全烧毁。机长和副机长度不幸遇难，但你和其他几名成员均未受伤。你们每个人都满头大汗，下半身也湿透了。坠机后不久飞机带着驾驶员的尸体飘入深水并沉入劳拉湖湖底。由于事出突然，飞机坠毁前来不及用无线电求助，而且也来不及通报出事地点。虽然如此，但从飞机坠落之前四周环境显示出:你们失事地点在原定航线以南 120 公里外的某地点，而且机长在坠机前也告诉大家，在 100 公里左右的西南方向有居民

出事地点附近是一片平坦的雪地，只长了一些小的灌木林。飞机坠落之前天气预报气温大约是-10°C,但地面上的温度则更接近-15°C。且昼夜温差很大有时温度在 10°C 到-30°C 上下。10 天中约 3/4 的时间为厚云层的阴天，有 1 天时间天空较晴。地面上的积雪厚度约 10-16 公分。风速每小时约 20-25 公里(4-6 级)，风向为西至西北风。

你们的成员都穿着防水的内衣、羊毛大衣、毛织手套、毛织帽和皮制狩猎靴全部加起来你们拥有 153 元现金,一把小刀(有两个刀片以及类似冰钻的小尖钻支短铅笔;一张航空地图。

挑战

你和另一名幸免遇难的成员在飞机飘走下沉之前抢救出了 15 项物品。现在的问题是，为了使大家能在北极生存下去，你们必须对这 15 项物品进行比较，然后根据你们所认为的对生存的重要程度选择带走部分物品。

你必须接受下列的假定:

1. 你是此境遇中的真实人物。

2. 所有物品状况良好，都处于干燥且可用的状态。

抢救出的物品
1. 一小瓶水净化药片
2. 250m 尼龙绳（承重 50 磅，约 23 公斤)
3. 13 根火柴
4. 一大铁桶蜂蜜
5. 手枪
6. 手电筒
7. 一瓶甜酒
8. 一个降落伞（红白相间颜色）
9. 手用斧头
10. 一个磁性罗盘
11. 一个多功能闹钟
12. 每人一个睡袋
13. 飞机轮用内胎
14. 一本《北部地区导航星图》的书
15. 安全剃须刀和镜子

附录 2：近红外功能成像通道定位

Channel	Anatom Label (AAL)	LPBA70
Frontal		
1	Frontal_Mid_R	Middle Frontal Gyrus
2	Frontal_Sup_Medial_R	Muperior Frontal Gyrus
3	Frontal_Sup_L	Superior Frontal Gyrus
4	Frontal_Mid_L	Middle Frontal Gyrus
5	Frontal_Mid_R	Middle Frontal Gyrus
6	Frontal_Sup_R	Middle Frontal Gyrus
7	Frontal_Sup_Medial_L	Superior Frontal Gyrus
8	Frontal_Sup_L	Middle Frontal Gyrus
9	Frontal_Mid_L	Middle Frontal Gyrus
10	Frontal_Mid_R	Middle Frontal Gyrus
11	Frontal_Sup_R	Middle Frontal Gyrus
12	Frontal_Sup_L	Superior Frontal Gyrus
13	Frontal_Mid_L	Middle Frontal Gyrus
14	Frontal_Mid_R	Inferior Frontal Gyrus
15	Frontal_Sup_R	Middle Frontal Gyrus
16	Frontal_Sup_Medial_L	Superior Frontal Gyrus
17	Frontal_Sup_L	Middle Frontal Gyrus
18	Frontal_Mid_L	Inferior Frontal Gyrus
19	Frontal_Mid_Orb_R	Inferior Frontal Gyrus
20	Frontal_Sup_Orb_R	Middle Frontal Gyrus
21	Frontal_Mid_Orb_L	Superior Frontal Gyrus
22	Frontal_Mid_Orb_L	Middle Frontal Gyrus
Left		
23	Precentral_L	Primary Motor Cortex
24	Postcentral_L	Primary Somatosensory Cortex
25	Parietal_Sup_L	Somatosensory Association Cortex
26	Parietal_Sup_L	Pre-Motor and Supplementary Motor Cortex
27	Precentral_L	Primary Somatosensory Cortex
28	Postcentral_L	Supramarginal gyrus part of Wernicke's area
29	Parietal_Inf_L	Angular gyrus, part of Wernicke's area
30	Angular_L	Primary Somatosensory Cortex

31	Postcentral_L	Supramarginal gyrus part of Wernicke's area
32	Parietal_Inf_L	Angular gyrus, part of Wernicke's area
33	Parietal_Inf_L	Subcentral area
34	Postcentral_L	Primary Somatosensory Cortex
35	SupraMarginal_L	Supramarginal gyrus part of Wernicke's area
36	SupraMarginal_L	Angular gyrus, part of Wernicke's area
37	Angular_L	Subcentral area
38	Postcentral_L	Supramarginal gyrus part of Wernicke's area
39	SupraMarginal_L	Superior Temporal Gyrus
40	SupraMarginal_L	Subcentral area
41	Postcentral_L	Superior Temporal Gyrus
42	Temporal_Sup_L	Superior Temporal Gyrus
43	Temporal_Mid_L	V3
44	Temporal_Mid_L	Middle Temporal gyrus
45	Temporal_Mid_L	Middle Temporal gyrus
46	Temporal_Mid_L	Fusiform gyrus